

# Analisis Perbaikan Kekuatan Beton dengan Metode *Grouting* Menggunakan Variasi Bahan Tambah Resin dan Abu Terbang

*Analysis of Concrete Strength Improvement with Grouting Method Using Additional Material of Resin and Fly Ash*

**Rohmat Nuurcahyo, Fadillawaty Shaleh, Fanny Monika**

*Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*

**Abstrak.** Beton sebagai bahan utama yang digunakan pada hampir seluruh struktur bangunan berpotensi mengalami kerusakan. Kerusakan struktur bangunan yang sering terjadi berupa retakan pada beton. Kerusakan berupa retakan ini dapat diperbaiki dengan cara memberikan perkuatan pada beton. Metode perbaikan yang biasa digunakan adalah metode *grouting*. Pada penelitian ini dilakukan analisis pengaruh penggunaan campuran resin dan abu terbang sebagai bahan *grouting* terhadap kuat tekan beton yang telah diperbaiki dengan umur 7, 14, dan 28 hari. Digunakan tiga variasi campuran resin dan abu terbang pada penelitian ini. Penggunaan resin pada masing-masing variasi campuran sama yaitu 200 ml, sementara penggunaan abu terbang di desain masing-masing 50 gram, 70 gram, dan 85 gram. Perubahan nilai kuat tekan rata-rata sebelum dan sesudah perbaikan pada masing-masing variasi campuran pada penggunaan abu terbang 50 gram yaitu dari 33,45 Mpa ke 26,02 MPa, ini artinya kuat tekan beton setelah perbaikan sebesar 77,79% dibandingkan kekuatan awal. Kemudian pada penggunaan abu terbang 70 gram yaitu dari 31,42 MPa ke 28,34 MPa, ini artinya kuat tekan beton setelah perbaikan sebesar 90,18% dibandingkan kekuatan awal. Selanjutnya pada penggunaan abu terbang 85 gram yaitu dari 35,76 MPa ke 31,35 MPa, ini artinya kuat tekan beton setelah perbaikan sebesar 87,66% dibandingkan kekuatan awal. Dengan hasil itu variasi campuran yang paling optimal untuk perbaikan beton adalah variasi campuran dengan penggunaan abu terbang 70 gram.

Kata-kata kunci : perbaikan, kuat tekan, *grouting*, resin, dan abu terbang

**Abstract.** Concrete as the main material in almost all building structures has the potential to be damaged. The damages that can occur in the form of cracks and it can be repaired by providing reinforcement on concrete. The repair method commonly used is the *grouting* method. In this study, the effect of using a mixture of resins and fly ash as a *grouting* material on the compressive strength of concrete that has been improved with the age of 7, 14, and 28 days was analyzed. Three variation mixes of resin and fly ash were used in this study. The use of fly ash is 50 grams, 70 grams and 85 grams respectively, while the use of resins in each variation mixture is 200 ml. Changes in the value of the average compressive strength before and after repairs on each mix variation on the use of 50 gram fly ash from 33,45 Mpa to 26,02 MPa, this means that the compressive strength of the concrete after repair is 77,79% compared to the initial strength. Then the use of 70 grams of fly ash is from 31,42 MPa to 28,34 MPa, this means that the compressive strength of the concrete after repair is 90,18% compared to the initial strength. Furthermore, the use of 85 grams of fly ash is from 35,76 MPa to 31,35 MPa, this means that the compressive strength of the concrete after repair is 87,66% compared to the initial strength. With the results, the most optimal mixture variations for concrete repairs are variations of the mixture with the fly ash content of 70 grams.

*Keywords* : repair, compressive strength, *grouting*, resin, and fly ash.

## 1. Pendahuluan

Beton sebagai bahan utama yang digunakan pada hampir seluruh struktur bangunan berpotensi mengalami kerusakan. Kerusakan yang dapat terjadi berupa retakan pada beton. Menurut Helmi (2009), penyebab utama dari kehancuran balok beton adalah

karena retakan yang terjadi pada tengah bentang balok. Kerusakan berupa retakan ini dapat diperbaiki dengan cara memberikan perkuatan pada beton. Menurut Yurmansyah dan Mukhlis(2009), metode perbaikan yang biasa digunakan adalah metode *grouting*, yaitu dengan cara menyuntikan bahan perekat pada lubang retakan beton yang retaknya 0,2 mm

sampai 5,00 mm dengan tujuan agar menjadi satu kesatuan(homogen).

Menurut Rayhan (2014), metode *grouting* dilakukan dengan cara mengisi bagian yang mengalami keretakan dengan campuran semen dan air, akan tetapi campuran ini dinilai masih belum dapat mengembalikan kekuatan struktur bangunan secara optimal, karena bahan tersebut tidak dapat memenuhi rongga yang mengalami kerusakan atau keretakan secara menyeluruh. Untuk mengatasi masalah ini, dipilih resin sebagai pengganti semen dan air. Sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai penggunaan resin sebagai pengganti semen dan air pada pembuatan beton dengan kadar resin 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dengan kuat tekan rata-rata adalah 0,48 MPa; 9,71 MPa; 50,13 MPa; 83,2 MPa; 84,6 MPa, jadi semakin besar nilai kadar resin yang digunakan pada beton, semakin besar pula nilai kuat tekan beton tersebut. (Putra, 2013). Selain itu, penambahan *fly ash* berpengaruh baik pada ikatan antar agregat sehingga kuat tekannya pun lebih besar dibandingkan tanpa *fly ash* (Rayhan, 2014). Namun, semakin besar kadar *fly ash* yang digunakan maka semakin besar nilai kuat tekan, tetapi jika terlalu besar kadar *fly ash* yang digunakan, kuat tekan beton menurun (Erviyanto dkk, 2016). Hasil uji reaktifitas dengan menggunakan XRD di dapatakan bahwa *fly ash* mengalami penurunan jumlah struktur amorf sebesar 3,47% sesudah mengalami proses *treatment* dan tidak baik sebagai bahan pengganti semen dalam beton secara keseluruhan (Rommel dkk, 2014).

Perbaikan beton dengan metode *grouting* ini terbukti efektif untuk memberi kekuatan pada lereng tanah dengan gradasi kasar dan kandungan batu krosok sampai 60%, Peningkatan yang terjadi mulai dari FS = 1,9 (33,3%) sampai dengan FS =2,80 (90,0%) (Sumirin dan Arief, 2017). Hasil dari pengujian Balok BBMT setelah di injeksi epoxy yaitu semakin lama umur perbaikan beton setelah di injeksi epoxy maka semakin besar beban maksimum yang dapat ditumpu oleh balok (Puspita dkk., 2018). Perbaikan juga dapat dilakukan dengan metode lain yaitu metode *jacketing* dengan bahan ferosemen yang mampu meningkatkan kapasitas beban ultimit setelah mendapat beban runtuh awal

sebesar 75% P maksimum (Soebandono dkk., 2011 ; Soenaryo dkk., 2009). Metode perbaikan lainnya dapat menggunakan metode Perbaikan Balok dengan *Carbon Fibre Reinforced Polymer* (CFRP) yang dapat menahan beban yang lebih besar dan menghasilkan lendutan yang semakin rendah (Jamal dkk., 2015). Berbeda dengan metode perbaikan dengan CFRB, pengujian dengan menggunakan *glass fiber reinforced polymer* (GFRP) memiliki sifat daktail yang ditunjukkan dengan meningkatnya perpindahan daktalitas sebesar 129,14% dan daktalitas kurvatur sebesar 118,27% (Parmo dkk., (2013).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh dari campuran bahan resin *catalyst* dan resin sebagai bahan *grouting* terhadap kuat tekan beton umur 7, 14, dan 28 hari setelah diperbaiki. Hasil dari penelitian ini didapatkan kadar penambahan *fly ash* paling optimal sebagai campuran bahan perbaikan metode *grouting*.

## 2. Beton

Beton merupakan bahan komposit dari berbagai campuran yang bahan utamanya terdiri dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar, dan air dan atau tanpa adanya tambahan lain yang memiliki perbandingan tertentu. Karna beton komposit maka kulaitras beton sangat bergantung dari kualitas masing-masing material pembentuk (Tjokrodimuljo, 2007).

Menurut Mulyono (2004), beton dalam keadaan mengeras seperti batu karang dengan kekuatan tinggi. Beton dalam keadaan segar dapat dibuat bermacam-macam bentuk sesuai dengan seni yang diinginkan. Beton juga harus kuat terhadap serangan api dan korosi, secara umum kelebihan dan kekurangan beton adalah sebagai berikut ini.

### a. Kelebihan Beton

1. Mampu dengan mudah memikul beban yang berat.
2. Biaya pemeliharaan kecil.
3. Pada tempertatur tinggi beton lebih tahan.
4. Mudah di bentuk sesuai kebutuhan.

### b. Kekurangan Beton

1. Dalam pelaksanaan pembuatan beton membutuhkan ketelitian yang sangat tinggi.

2. Beton yang sudah di cetak sulit di rubah.
3. Daya pantul suara yang dimiliki tinggi.
4. Berat.

### 3. Resin dan *Catalyst*

Menurut Nugraha dan Antoni (2007) resin *catalyst* merupakan salah satu bahan material perbaikan dikarenakan bahan tersebut memiliki kecepatan dalam proses pengerasan agar tidak terjadi kehilangan lekatan yang menyebabkan terjadinya retak baru. Karakteristik dari resin yang seperti getah atau lem inilah fungsi utamanya sebagai perekat kemudian ditambah dengan bahan pengeras seperti *catalyst* merupakan oksidator terhadap bahan kimia dari resin yang mempercepat laju reaksi sehingga resin cepat mengeras.

Menurut Mulyono (2004) material dengan menggunakan modifikasi polimer merupakan bahan tambah baru memiliki nilai kekuatan beton cukup tinggi yaitu sebesar 15000 Psi (1000 Psi = 6,9 MPa) serta memiliki nilai kuat tarik sebesar 1500Psi. Beton polimer ini menggunakan bahan dari *resin* dan bahan pengeras sebagai tambahannya. Pada dasarnya beton polimer yang menggunakan resin dan pengeras ini menggantikan air sebagai campuran agar memperoleh beton berkekuatan tinggi serta mutu yang baik.

### 4. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Menurut Nugraha dan Antoni (2007) abu terbang (*fly ash*) merupakan sisa pembakaran batu bara yang kebanyakan digunakan oleh pembangkit listrik tenaga uap. Kandungan dari *fly ash* tersebut memiliki kadar semen yang cukup tinggi dan juga mempunyai unsur kimia seperti silikat dioksida (SiO<sub>2</sub>), Alumunium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), besi (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), kalsium (CaO), magnesium potasium, sodium, titanium dan sulfur. Keunggulan campuran pada beton menggunakan *fly ash* adalah sebagai berikut ini.

1. Keunggulan pada beton segar.
  - a) Meningkatkan *workability* dikarenakan bentuk dari *fly ash* yang bulat dan halus.
  - b) Mengurangi terjadinya pemisahan agregat dan meminimalisir *bleeding*.
2. Keunggulan pada beton keras.
  - a) Berkontribusi dalam meningkatkan kekuatan beton umur 52 hari.
  - b) Meningkatkan kepadatan pada beton.
  - c) Meningkatkan *durabilitas* pada beton.

- d) Meminimalisir terjadinya penyusutan pada beton.

### 5. Pembuatan Benda Uji

Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk kubus berukuran 15×15×15 cm dengan jumlah total benda uji sebanyak 27 buah yang diuji tekan pada umur beton 28 hari. Setelah itu kubus beton diperbaiki dengan metode *grouting* atau injeksi dengan tiga variasi bahan campuran yang masing-masing campuran menggunakan resin dan *catalyst* sebanyak 200 ml dan 3 ml, sementara penambahan abu terbang (*fly ash*) divariasikan berturut-turut sebesar 50 gram, 70 gram, dan 85 gram. Setiap variasi bahan *grouting* digunakan untuk memperbaiki 9 benda uji yang dibagi setiap 3 benda uji untuk diuji tekan pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari setelah perbaikan. Pada Tabel 1 merupakan hasil perancangan variasi campuran bahan *grouting*.

Tabel 1. Variasi campuran bahan *grouting*

Bahan	Campuran		
	C 50	C 70	C 85
Resin	200 ml	200 ml	200 ml
<i>Catalyst</i>	3 ml	3 ml	3 ml
<i>Fly Ash</i>	50 gram	70 gram	85 gram

### 6. Kuat Tekan Beton

Menurut Tjokrodinuljo (2007), Nilai kuat tekan beton umumnya relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya, untuk meninjau mutu beton ditinjau kuat tekannya saja. Berdasarkan kuat tekannya, beton dapat dibagi beberapa beberapa jenis sebagaimana terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Beberapa jenis beton menurut kuat tekannya (Tjokrodinuljo, 2007)

Jenis Beton	Kuat Tekan
Beton Kuat Tekan Sangat Tinggi	>80 MPa
Beton Kuat Tekan Tinggi	40 – 80 MPa
Beton Pra Tegang	30 – 40 MPa
Beton Normal (Beton Biasa)	15 – 30 MPa

### 7. *Grouting*

*Grouting* yaitu menyuntikkan bahan perekat pada retakan beton yang memiliki keretakan 0,2 mm sampai 5,00 mm agar menjadi satu kesatuan (homogen) (Yurmansyah dan Mukhlis, 2009). Bahan *grouting* yang biasa digunakan adalah

campuran semen dan air, akan tetapi campuran ini dinilai masih belum dapat mengembalikan kekuatan struktur bangunan secara optimal, karena bahan tersebut tidak dapat memenuhi rongga yang mengalami kerusakan atau keretakan secara menyeluruh. Untuk mengatasi masalah ini, dipilih resin sebagai pengganti semen dan air (Rayhan, 2014).

## 8. Hasil dan Pembahasan

### Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton

Hasil pengujian agregat halus dan agregat kasar selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4. Hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar belum memenuhi nilai kadar lumpur yang diperbolehkan maka perlu dilakukan pencucian sebelum digunakan sebagai bahan penyusun beton.

Tabel 3. Hasil pengujian agregat halus

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Satuan
Berat Jenis	2,68	-
Penyerapan Air	10,87	%
Kadar Air	3,03	%
Kadar Lumpur	4,78	%
Berat Satuan	1,47	gr/cm <sup>3</sup>
Gradasi Butiran	Daerah 2	-
Modulus Halus Butir	3,725	-

Tabel 4. Hasil pengujian agregat kasar

Jenis Pengujian	Hasil	Satuan
Keausan Agregat	18,89	%
Kadar Air	1,84	%
Berat jenis	2,64	-
Penyerapan Air	1,79	%
Kadar Lumpur	1,45	%
Berat Satuan	1,45	g/cm <sup>3</sup>

### Hasil Mix Design

Berdasarkan SNI 03-2834-2000 (Badan Standarisasi Nasional, 2000) tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal, didapatkan hasil perhitungan kebutuhan

masing-masing material penyusun beton untuk setiap benda uji seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Kebutuhan material penyusun beton tiap satu benda uji

Jenis Material	Jumlah kebutuhan	Satuan
Kerikil Clereng	3,82	Kg
Pasir Progo	2,65	Kg
Air	0,76	Liter
Semen	1,62	Kg

### Hasil Kuat Tekan Beton

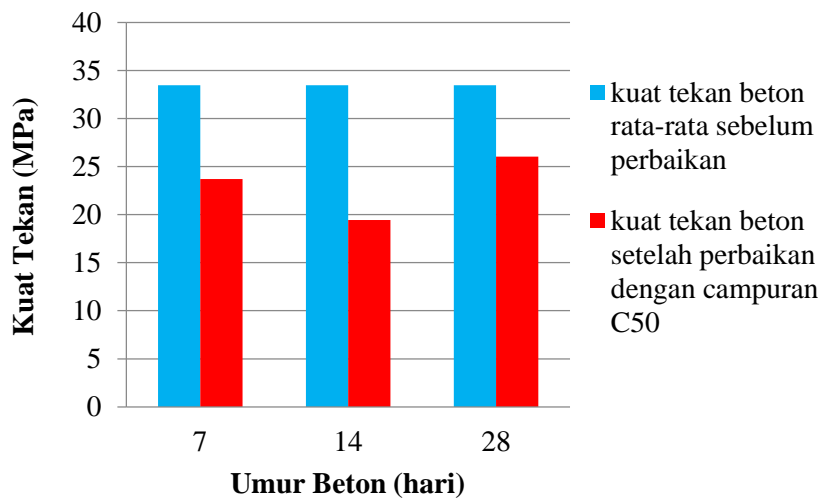
Data lengkap hasil uji tekan beton sebelum dilakukan perbaikan dan setelah dilakukan perbaikan dengan bahan *grouting* variasi C50 kandungan *fly ash* sebanyak 50 gram ditunjukkan pada Tabel 6. Kemudian pada Gambar 1 ditunjukkan perbandingan kuat tekan beton rerata dengan kuat tekan beton umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari setelah perbaikan dengan bahan *grouting* variasi C50.

Pengujian kuat tekan beton sebelum dilakukan perbaikan dan setelah dilakukan perbaikan dengan bahan *grouting* variasi C70 kandungan *fly ash* 70 gram, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 7. Kemudian perbandingan kuat tekan beton rerata dengan kuat tekan beton umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari setelah perbaikan dengan bahan *grouting* variasi C70 disajikan pada Gambar 2.

Pengujian kuat tekan beton sebelum dilakukan perbaikan dan setelah dilakukan perbaikan dengan bahan *grouting* variasi C85 kandungan *fly ash* 85 gram hasilnya dapat dilihat pada Tabel 8. Kemudian perbandingan kuat tekan beton rerata dengan kuat tekan beton umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari setelah perbaikan dengan bahan *grouting* variasi C85 disajikan pada Gambar 3.

Tabel 6. Hasil kuat tekan beton perbaikan dengan bahan variasi C50

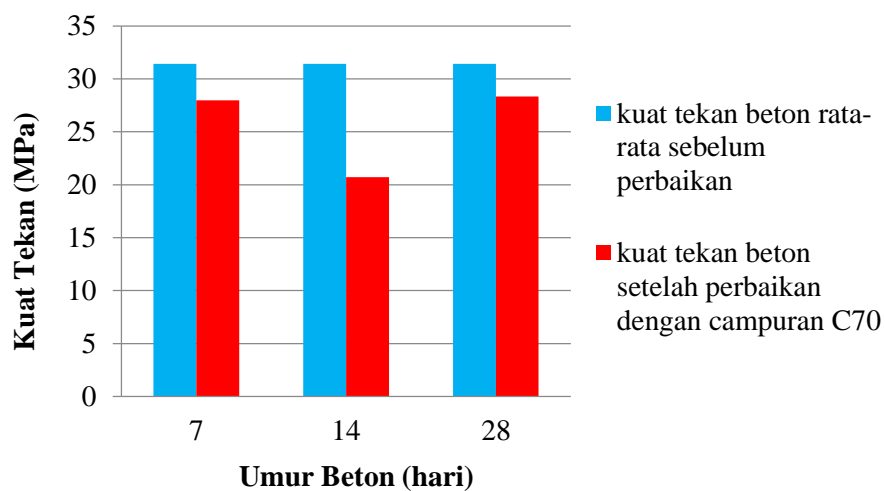
Kode	Hasil Uji Sebelum Diperbaiki			Hasil Uji Setelah Diperbaiki			Perbaikan Kekuatan Beton
	P.max	fc' umur	Rata-rata	P.max	fc' umur	Rata-rata	
TA 6	33.50	28 hari		22.36	28 hari		
TA 7	34.14	28 hari		29.20	28 hari	26.02	77.79%
TA 8	35.04	28 hari		26.51	28 hari		
TA 36	33.60	28 hari		28.35	14 hari		
TA 37	31.02	28 hari	33.45	14.16	14 hari	19.43	58.08%
TA 42	28.97	28 hari		15.79	14 hari		
TA 77	36.55	28 hari		25.94	7 hari		
TA 78	33.37	28 hari		20.12	7 hari	23.71	70.88%
TA 79	34.89	28 hari		25.07	7 hari		



Gambar 1. Perbandingan kuat tekan beton rata-rata dan kuat tekan beton umur 7 hari,14 hari dan 28 hari setelah perbaikan.

Tabel 7. Hasil kuat tekan beton perbaikan dengan bahan variasi C70

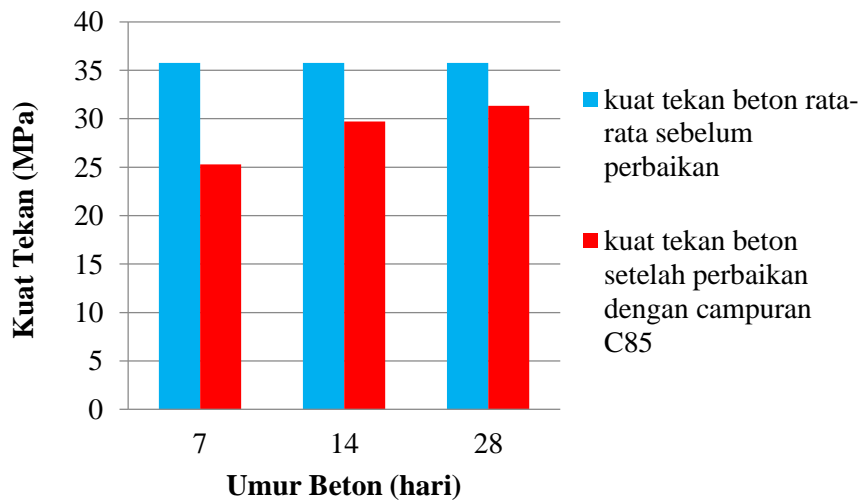
Kode	Hasil Uji Sebelum Diperbaiki			Hasil Uji Setelah Diperbaiki			Perbaikan Kekuatan Beton
	P.max	fc' umur	Rata-rata	P.max	fc' umur	Rata-rata	
TA 15	34.26	28 hari		29.03	28 hari		
TA 16	31.24	28 hari		29.37	28 hari	28.34	90.18%
TA 17	28.46	28 hari		26.62	28 hari		
TA 49	31.37	28 hari		22.64	14 hari		
TA 50	32.14	28 hari	31.42	18.51	14 hari	20.71	65.92%
TA 51	26.81	28 hari		20.98	14 hari		
TA 84	31.52	28 hari		30.49	7 hari		
TA 85	33.96	28 hari		28.05	7 hari	27.99	89.06%
TA 90	33.02	28 hari		25.41	7 hari		



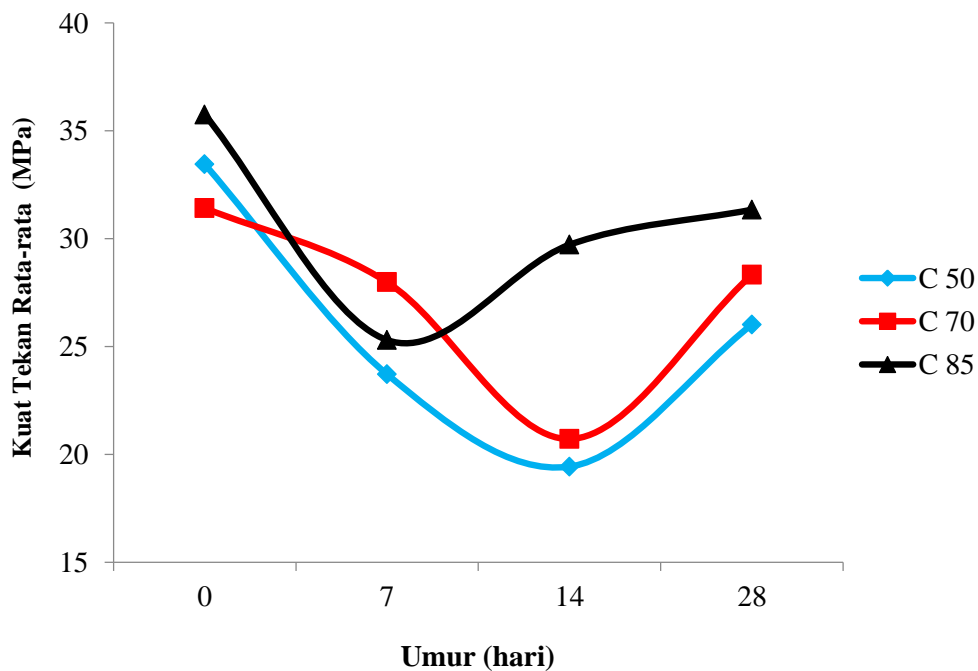
Gambar 2. Perbandingan kuat tekan beton rata-rata dan kuat tekan beton umur 7 hari,14 hari dan 28 hari setelah perbaikan.

Tabel 8. Hasil kuat tekan beton perbaikan dengan bahan variasi C85

Kode	Hasil Uji Sebelum Diperbaiki			Hasil Uji Setelah Diperbaiki			Perbaikan Kekuatan Beton
	P.max	fc' umur	Rata-rata	P.max	fc' umur	Rata-rata	
TA 27	35.06	28 hari		34.91	28 hari		
TA 28	35.69	28 hari		27.85	28 hari	31.35	87.66%
TA 29	34.39	28 hari		31.28	28 hari		
TA 58	33.23	28 hari		31.22	14 hari		
TA 59	37.18	28 hari	35.76	21.54	14 hari	29.72	83.12%
TA 60	34.94	28 hari		36.40	14 hari		
TA 61	35.84	28 hari		25.31	7 hari		
TA 76	37.05	28 hari		21.41	7 hari	25.30	70.75%
TA 89	38.44	28 hari		29.17	7 hari		



Gambar 3. Perbandingan kuat tekan beton rata-rata dan kuat tekan beton umur 7 hari,14 hari dan 28 hari setelah perbaikan.



Gambar 4. Hubungan kuat tekan beton rata-rata dan umur beton setelah dilakukan perbaikan

Hasil keseluruhan kuat tekan rata-rata yang didapatkan dari pengujian disajikan dalam bentuk grafik hubungan kuat tekan beton dengan umur beton setelah perbaikan seperti pada Gambar 4. Berdasarkan grafik hubungan kuat tekan rata-rata dan umur beton setelah perbaikan di atas, diantara tiga variasi campuran bahan *grouting* yang digunakan, variasi C85 dengan komposisi resin 200 ml, *catalyst* 3 ml dan *fly ash* 85 gram merupakan variasi bahan *grouting* yang paling optimal untuk perbaikan beton karena menghasilkan perbaikan kekuatan beton yang makin bertambah seiring bertambahnya umur beton setelah perbaikan dan kekuatan beton dapat dikembalikan hingga 87,66% dari kekuatan beton semula pada umur 28 hari setelah perbaikan.

Penelitian sebelumnya oleh Krishnamoorthy dan Arif (2013) dengan judul *Concrete Cracks Repair Using Epoxy Resin* didapatkan hasil kekuatan beton yang diperbaiki dengan injeksi *epoxy* mengalami persentase penurunan kekuatan beton pada kisaran 14 hingga 21% dibandingkan kekuatan awal beton. Sedangkan pada penelitian Analisis Perbaikan Kekuatan Beton dengan Metode *Grouting* Menggunakan Variasi Bahan Tambah Resin dan Abu Terbang ini, didapatkan hasil kekuatan beton yang diperbaiki dengan *grouting* resin *catalyst* dan *fly ash* mengalami persentase penurunan kekuatan beton hingga 12,34% dibandingkan kekuatan awal beton. Hasil ini menunjukkan penelitian yang sekarang didapatkan hasil yang lebih baik dalam hal perbaikan kekuatan beton meskipun belum bisa mengembalikan kekuatan beton seperti kekuatan awal beton.

## 9. Kesimpulan dan Saran

Pengaruh penggunaan bahan resin *catalyst* dan abu terbang (*fly ash*) sebagai bahan perbaikan beton metode *grouting* berhasil mengembalikan kuat tekan beton seiring dengan bertambahnya umur beton setelah perbaikan pada umur 28 hari hingga mencapai 87,66% dibandingkan kuat tekan awal beton. Sementara itu komposisi campuran bahan *grouting* paling optimal yang dapat digunakan sebagai bahan perbaikan yaitu pada variasi campuran C85 dengan penambahan kadar abu terbang (*fly ash*)

sebesar 85 gram pada resin 200 ml dan *catalyst* 3 ml.

Adapun saran untuk penelitian serupa yang dapat dilaksanakan selanjutnya yaitu sebagai berikut:

1. perlu ditambah variasi campuran dari bahan perbaikan resin *catalyst* dan abu terbang (*fly ash*) agar didapatkan campuran bahan yang lebih optimal sebagai bahan perbaikan beton metode *grouting*,
2. pembebanan pada pengujian kuat tekan awal beton lebih baik disamakan atau diseragamkan untuk mempermudah analisis pengaruh perbaikan yang dilakukan.

## 10. Daftar Pustaka

- Badan Standarisasi Nasional, 2000, *SNI 03-2834-2000 Tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, Jakarta.
- Ervianto, M., Saleh, F., dan Prayuda, H., 2016, Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Bahan Tambah Abu Terbang (*Fly Ash*) dan Zat Aditif (*Bestmittel*), *Jurnal Ilmiah Sinergi*, 20(3), 199-206.
- Helmi, M., 2009, Perbaikan Balok Beton Bertulang yang Telah Mengalami Beban Puncak dengan Baja Siku, *Jurnal Rekayasa*, 13(1), 55-65.
- Jamal, A. U., Bale, H. A., dan Haqiqi, I., 2015, Perilaku Lentur Perbaikan Balok Beton Bertulang dengan Variasi Lebar *Carbon Fibre Reinforced Polymer*, *Jurnal Teknisia*, 20(2), 154-162.
- Krishnamoorthy, R. R., dan Arif, S. N. S. T., *Concrete Cracks Repair Using Epoxy Resin*, Thesis, Faculty of Civil Engineering Universiti Teknologi Mara Shah Alam Malaysia
- Mulyono, T., 2004, *Teknologi Beton*, Yogyakarta: Andi.
- Nugraha, P., dan Antoni, 2007, *Teknologi Beton*, Yogyakarta: Andi.
- Parmo, Soeharjono, A., dan Tavio, 2013, Perbaikan Kekuatan dan Daktilitas Kolom Beton Bertulang Yang Mendapat Beban Gempa Menggunakan *Glass Fiber Reinforced Polymer*, *Jurnal Teknologi dan Kejuruan*, 36(1), 75-86.
- Puspita, F. F., Aulia, B. T., dan Afifudin, M., 2018, Analisis Retak Lentur pada Balok

- Beton Bertulang Mutu Tinggi yang Diperbaiki dengan Injeksi *Epoxy*, *Jurnal Teknik Sipil*, 1(4), 831-844.
- Putra, K. A., 2013, *Sifat Fisik dan Mekanik Beton Polimer dengan Variasi Poliester Resin 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Rayhan, M., 2014, *Pengaruh Zat Aditif terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Beton Polimer Resin*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Rommel, E., Kurniawati, D., dan Pradibta, A. P., 2014, Perbaikan Sifat Fisik dan Reaktifitas *Fly Ash* Sebagai *Cementitious* pada Beton, *Jurnal Media Teknik Sipil*, 12(2), 111-118.
- Soebandono, B., Triwiyono, A., dan Muslikh, 2011, Perbaikan Balok Beton Bertulang dengan Metode *Jacketing* dengan Bahan Ferosemen Akibat Beban Siklik pada Beban Ultimit, *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 14(2), 166-176.
- Soenaryo, A., Hidayat, M. T., dan Siswanto, H., 2009, Perbaikan Kolom Beton Bertulang Menggunakan *Concrete Jacketing* dengan Prosentase Beban Runtuh yang Bervariasi. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 3(2), 91-100.
- Sumirin, dan Arief, R. B., 2017, Analisis Efektifitas Model Perkuatan dengan Injeksi Semen untuk Peningkatan Angka Keamanan Lereng, *Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil*, 23(1), 23-28.
- Tjokrodinuljo, K. 2007. *Teknologi beton*, Yogyakarta: Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM.
- Umboh, A.H., Sumanjouw, M.D.J., Windah, R.S., 2014, *Pengaruh Abu Terbang (Fly Ash) dari PLTU II Sulawesi Utara sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton*, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Yurmansyah, I., dan Mukhlis, 2009, Perkuatan Struktur Beton Gedung Dengan Metode *Grouting* Dan *Glasss Fiber*, *Jurnal Rekayasa Sipil*, 5(1), 46-57.